

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-092589

(43)Date of publication of application : 06.04.2001

(51)Int.Cl.

G06F 3/033

(21)Application number : 11-268861

(71)Applicant : SUZUKI MOTOR CORP

(22)Date of filing : 22.09.1999

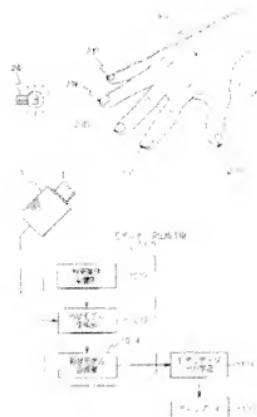
(72)Inventor : IKEMOTO AKIO  
KUMANO NOBUHIRO  
ADACHI YOSHITAKA

## (54) MODELING DEVICE AND STORAGE MEDIUM STORING PROGRAM FOR MODELING DATA GENERATION

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To generate a geometric model of a model object to determine the form from the top end parts and joints in real time while securing the natural motion of the model object.

**SOLUTION:** A model data generating means 1015 is provided with a restraint condition storage part 1012 storing restraint conditions on the degree of freedom and the rotating angle of the joints predetermined corresponding to the motion examples of the model object 22, a geometric model generating part 1013 for calculating the position of the top end part and the angle of the joint linked with the top end part for each top end part on the basis of the restraint conditions stored in the restraint condition storage part 1012 and the position information of the top end parts and a geometric model synthesizing part 1014 for synthesizing the geometric model for each top end part generated by the geometric model generating part 1013.



(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-92589

(P2001-92589A)

(43)公開日 平成13年4月6日 (2001.4.6)

(51)Int.Cl.  
G 0 6 F 3/033識別記号  
3 1 0P I  
G 0 6 F 3/033テ-レコ-ド (参考)  
3 1 0 Y 5 B 0 8 7(21)出願番号 特願平11-268861  
(22)出願日 平成11年9月22日 (1999.9.22)(71)出願人 000002082  
スズキ株式会社  
静岡県浜松市高塚町300番地  
(72)発明者 池本 明夫  
神奈川県横浜市都筑区桜並木2番1号 ス  
ズキ株式会社技術研究所内  
(72)発明者 鹿野 実弘  
神奈川県横浜市都筑区桜並木2番1号 ス  
ズキ株式会社技術研究所内  
(74)代理人 100079164  
弁理士 高橋 勇

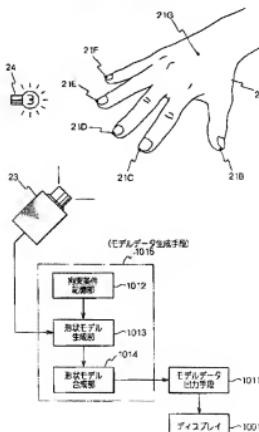
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 モデリング装置及びモデリングデータ生成用プログラムを記憶した記憶媒体

## (57)【要約】

【課題】 先端部と関節によって形状が定まるモデル対象物の自然な動作を確保しつつリアルタイムに当該モデル対象物の形状モデルを生成すること。

【解決手段】 モデルデータ生成手段1015が、前記モデル対象物22の動作例に応じて予め定められた前記関節の自由度及び仰俯角度に関する拘束条件を記憶した拘束条件記憶部1012と、この拘束条件記憶部1012に格納された拘束条件と前記先端部の位置情報とに基づいて各先端部毎に当該先端部の位置及び当該先端部とリンクした関節の角度とを算出する形状モデル生成部1013と、この形状モデル生成部1013で生成された各先端部毎の形状モデルを合成する形状モデル合成功部1014とを備えた。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 指先等の複数の先端部とこれら先端部にリンクした関節と当該先端部を前記関節を介して支持する支持部とを有するモデル対象物について当該先端部及び支持部の位置を計測する位置計測手段と、この位置計測手段によって計測された各先端部及び支持部の位置情報を基いて前記モデル対象物のモデルデータを生成するモデルデータ生成手段と、このモデルデータ生成手段によって生成されたモデルデータを表示手段等の外部機器に取出するモデルデータ出力手段とを備え、前記モデルデータ生成手段が、前記モデル対象物の動作例に応じて予め定められた前記関節の自由度及び回転角度に関する拘束条件を記憶した拘束条件記憶部と、この拘束条件記憶部に格納された拘束条件と前記先端部の位置情報とに基づいて各先端部毎に当該先端部の位置及び当該先端部とリンクした関節の角度とを算出する形状モデル生成部と、この形状モデル生成部で生成された各先端部毎の形状モデルを合成する形状モデル合成部とを備えたことを特徴とするモデリング装置。

【請求項2】 前記拘束条件記憶部が、1つの先端部とリンクした複数の関節について各関節の角度の関係を予め定めた第1の拘束条件を記憶する第1の拘束条件記憶領域を有し、

前記形状モデル生成部が、モデルを生成する先端部について第1の拘束条件が課されている場合には支持部から先端部までに存在する各関節の角度の関係を前記位置計測手段によって計測された支持部の位置と前記先端部の位置とに基づいて算出する全角度算出機能を備えたことを特徴とする請求項1記載のモデリング装置。

【請求項3】 前記拘束条件記憶部が、1つの先端部とリンクした複数の関節について特定の関節のみに自由度を与えた他の関節については予め定められた角度で固定する第2の拘束条件を記憶する第2の拘束条件記憶領域を備え、

前記形状モデル生成部が、モデルを生成する先端部について第2の拘束条件が課されている場合には前記位置計測手段によって計測された支持部の位置と前記先端部の位置とに基づいて当該支持部から先端部までに存在する各関節の内前記第2の拘束条件で特定される関節の角度を算出すると共に他の関節については予め定められた角度と判定する特定関節角度算出機能を備えたことを特徴とする請求項1又は2記載のモデリング装置。

【請求項4】 前記拘束条件記憶部が、前記モデル対象物の先端部の内前記位置計測手段によって位置が計測されない未計測先端部の位置及び当該未計測先端部にリンクされた各関節の角度について予め定義された基準となる先端部及び関節を第3の拘束条件として記憶する第3の拘束条件記憶領域を備え、

前記形状モデル生成部が、モデルを生成する未計測先端部に前記第3の拘束条件が課されている場合には当該未

計測先端部の基準となる先端部の位置に追従する位置を当該未計測先端部の位置と判定すると共に当該未計測先端部とリンクした各関節の角度については前記基準となる先端部とリンクした各関節の角度に基づいて算出する未計測部分算出機能を備えたことを特徴とする請求項1、2又は3記載のモデリング装置。

【請求項5】 指先等の複数の先端部とこれら先端部とリンクした関節と当該先端部を前記関節を介して支持する支持部とを有するモデル対象物について当該先端部及び支持部の位置を計測する位置計測手段と、この位置計測手段と接続され当該位置計測手段から入力される各先端部の位置情報を基づいて前記モデル対象物のモデルデータを生成する演算装置と、モデル対象物の動作例に応じて予め定められた前記関節の自由度及び回転角度に関する拘束条件を記憶した拘束条件記憶装置と備えたモデルリングシステムを使用してリアルタイムにモデルデータを生成するためのモデリングデータ生成用プログラムを記憶した記憶媒体であって、

前記拘束条件記憶部に格納された拘束条件を前記先端部の種類毎に読み出させる拘束条件読出指令と、この拘束条件読出指令に応じて読み出された拘束条件と前記先端部の位置情報を基づいて各先端部毎に当該先端部の位置及び当該先端部とリンクした関節の角度とを算出させる形状モデル生成指令と、この形状モデル生成指令に応じて生成される各先端部毎の形状モデルを合成させる形状モデル合成指令とを備えたことを特徴とするモデリングデータ生成用プログラムを記憶した記憶媒体。

【請求項6】 オペレータの手の形状をモデル対象物として当該手の指先位置のうち親指と人差し指及び中指の指先位置を計測すると共に当該指先位置の三次元座標を算出する位置計測手段と、この位置計測手段によって計測された各先端部の位置情報を基づいて関節を有する指先モデルと手の甲となる手の形状モデルデータを生成するモデルデータ生成手段と、このモデルデータ生成手段によって生成された手の形状モデルデータを表示手段等の外部機器に取出するモデルデータ出力手段とを備え、

前記モデルデータ生成手段が、前記指先モデルの動作例に応じて予め定められた各指のそれぞれの関節の自由度及び回転角度にに関する拘束条件を記憶した拘束条件記憶部と、この拘束条件記憶部に格納された拘束条件と前記先端部の位置情報を基づいて各指毎に指先モデルを生成する形状モデル生成部と、この形状モデル生成部で生成された各先端部毎の指先モデルと前記手の甲モデルとを合成するモデル合成部とを備え、

前記拘束条件記憶部が、人差し指モデル及び中指モデルについてそれぞれの複数の関節の角度が等しいとする第1の拘束条件データと、親指モデルについて当該親指の付け根にあたる関節のみに自由度を与え他の関節については予め定められた角度で固定する第2の拘束データ

と、兼指モデルと小指モデルについては前記中指モデルの動作に追従させる追従形式を定めた第3の拘束データとを備えた拘束データ記憶領域を備え、

前記形状モデル生成部が、前記指先位置の三次元座標の内の一成分と前記各拘束データとにに基づいて前記各指先モデルの形状を算出する近似形状算出機能を備えたことを特徴とするモーデリング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、モーデリング装置に係り、特に、人間の手の動作や動物の動きなどをモデル対象物としてリアルタイムに形状モデルを生成するモーデリング装置に関する。

【0002】本発明で形状モデル生成の対象となるモデル対象物は、先端部と、この先端部と連なる関節と、この関節を介して先端部を支持する支持部とを備える。この先端部と関節とを有する物であれば、生体や無機物さらに仮想上の物体など種々の物をモデル対象物とすることが可能である。すなわち、本発明は、指先を先端部とする手の形状モデルや、足の先を先端部とする馬などの4つ足動物の形状モデルや、葉先を先端部とする樹木の形状モデルや、折り畳み傘の形状モデルの生成に適している。

【0003】本発明の応用分野としては、パーソナルアリティでのコンピュータグラフィックス技術一般に適用できる。さらに、手術のシミュレーションや、ゲームへの応用が考えられる。

【0004】

【従来の技術】従来より、手の動作をリアルタイムにディスプレイに表示することが行われている。例えば、同一出願人による特開平10-207617号公報には、三次元入力マニピュレータを用いて、仮想空間内の物体を操作する手法が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記公報に開示された例では、ディスプレイに表示する手のモデルは、実際に操作中の手の形状にかわらず、人差し指を伸ばし、他の指を握った状態の形状で表示している。すると、例えば3つの指に仮想モデルからの反力を「引くもの」であるのに対して、手のモデルの形状が一定であると、オペレータの手の状態とディスプレイに表示する手の状態とが相違してしまう、という不都合があった。

【0006】また、手の状態をモーデリングする手法として、モーションキャプチャが挙げられるが、これはリアルタイムの表示を行うものではない。また、手袋の指関節部に垂みセンサを取り付けて各指の曲がり具合をリアルタイムで検出する方法があるが、指の動きが少なからず拘束されるとといった不便さがある。

【0007】

【発明の目的】本発明は、係る従来例の有する不都合を改善し、特に、先端部と関節とによって形状が定まるモデル対象物の自然な動作を確保しつつリアルタイムに当該モデル対象物の形状モデルを生成することのできるモーデリング装置を提供することを、その目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明では、モデル対象物の自然な動作に干渉せずモデル対象物の状態を知るために、先端部と支持部での位置計測を行う。そして、各先端部と支持部とを接続する関節の回転角度や方向などについては、直接計測することなく、先端部の位置と支持部の位置とからエミュレートする。このとき、各関節の自由度の総数に対して、計測点が少ないため、その差に応じて各関節の回転角度に拘束条件を与える。拘束条件としては、例えば1つの先端部と連なる関節の回転角度が等しいとするものや、ある関節の関節角度と他の関節の回転角度の関係が例えば2倍であるとか、プラスマイナスの符号が反転する関係などが該当する。

【0009】具体的には、本発明では、指先等の複数の先端部とこれら先端部にリンクした関節とを有するモデル対象物について当該先端部の位置と当該先端部を前記関節を介して支持する支持部の位置とを計測する位置計測手段と、この位置計測手段によって計測された各先端部及び支持部の位置情報を基づいて前記モデル対象物のモデルデータを生成するモデルデータ生成手段と、このモデルデータ生成手段によって生成されたモデルデータを表示手段等の外部機器に出力するモデルデータ出力手段とを備えている。しかも、モデルデータ生成手段が、前記モデル対象物の動作例に応じて予め定められた拘束条件記憶部と、この拘束条件記憶部に格納された拘束条件と前記先端部の位置情報とに基づいて各先端部毎に当該先端部の位置及び当該先端部とリンクした関節の角度とを算出する形状モデル生成部と、この形状モデル生成部で生成された各先端部毎の形状モデルを合成する形状モデル合成部とを備えた、という構造を採っている。これにより前述した目的を達成しようとするものである。

【0010】位置計測手段は、モデル対象物の各先端部の位置と支持部の位置とを計測する。そして、モデルデータ生成手段では、形状モデル生成部が、この先端部の位置情報及び支持部の位置情報に基づいてモデルデータを生成する。このとき、関節数に対して、計測する位置情報の数が少ないため、関節の自由度及び回転角度に関する拘束条件を使用する。この拘束条件は、予め拘束条件記憶部に格納されており、形状モデル生成部は、この拘束条件記憶部に格納された拘束条件を読み出して使用する。この拘束条件を用いることで、少ない位置情報で関節を有する複雑なモデル対象物の形状モデルデータを生成する。

## 【0014】

【0014】実験の形態】以下、本発明の実験の形態を図面を参照して説明する。本実験形態によるモデリング装置は、指先等の複数の先端部とこれら先端部にリンクした関節と当該先端部を前記関節を介して支持する支持部とを有するモデル対象物22について当該先端部及び支持部の位置を計測する位置計測手段2と、この位置計測手段2によって計測された各先端部及び支持部の位置情報を基づいて前記モデル対象物のモデルデータを生成するモデルデータ生成手段1015と、このモデルデータ生成手段1015によって生成されたモデルデータを表示手段等の外部機器に出力するモデルデータ出力手段1011とを備えている。さらに、モデルデータ生成手段1015が、前記モデル対象物22の動作例に応じて予め定められた前記関節の自由度及び回転角度に関する拘束条件を記憶した拘束条件記憶部1012と、この拘束条件記憶部1012に格納された拘束条件と前記先端部の位臵情報とにに基づいて各先端部毎に当該先端部の位臵及び当該先端部とリンクした関節の角度とを算出する形状モデル生成部1013と、この形状モデル生成部1013で生成された各先端部毎の形状モデルを合成する形状モデル合成分1014とを備えている。

【0012】図1に示す例では、モデル対象物を人の手の形状としている。このため、位置計測手段2は、手の先端部である指先の位臵を計測する。図1に示す例では、指先に画像処理上の特徴となるマーク21B乃至21Fを付しておき、各マークの位置を三角測量の原理により計測する。このため、位置計測手段2は、指先を含む手を撮影する撮像カメラ23と、手に計測光を照射する光源24とを備える。この場合、形状モデル生成部1015は、光源と撮像カメラ23とが成す角と各マークの撮像位置とに基づいて各マークまでの距離を算出すると共に、この各マークまでの距離を測定対象物での座標系での座標へ変換する画像処理機能を備える。この画像処理機能は、カメラ座標系での各点の座標値を物体座標系での座標値に変換するものである。この画像処理機能によって、三次元距離計を三次元位臵計測装置として利用できる。図1に示す例では、位置計測手段2として画像処理による三次元位臵計測装置を採用しているが、これに限らず、指先の変位量や速度を検出する他のセンサを用いるようにしても良い。

【0013】関節に連なる先端部である各指先の位置が計測されると、形状モデル生成部1015は、この各指先の位臵情報を基づいて手のモデルデータを生成する。このとき、形状モデル生成部1015は、手の形状をエミュレートするために種々の拘束条件を使用する。すなわち、指先でのみ位臵情報を検出しつつ、指は3つの関節でその形状が定まるため、各関節の回転角度を单一の位臵情報で特定することはできない。このため、各指の動作の性質に応じて、拘束条件を「える。

【0014】図2は拘束条件記憶部1012に格納される拘束条件データと形状モデル生成部1014の各機能との関係を示すブロック図である。拘束条件記憶部1012は、まず、1つの先端部とリンクした複数の関節について各関節の角度の関係を予め定めた第1の拘束条件1021を記憶する第1の拘束条件記憶領域を備えている。第1の拘束条件は、例えば、1つの先端部とリンクした複数の関節の角度が同一であるという仮定や、各角度の大きさの比率についての仮定が該当する。このようないくつかの仮定は、モデル対象物の性質に応じて定めると良い。例えば、人の手の人差し指であれば、各関節の回転角度が同一であるとしても、生成する形状モデルは自然な状態となる。各角度の大きさの比率は、例えば第1関節をa [rad]としたときに、第2関節をa/2 [rad]とする拘束条件を意味する。

【0015】この第1の拘束条件に応じて、形状モデル生成部1014が、モデルを生成する先端部について第1の拘束条件が課されている場合には、支持部から先端部までに存在する各関節の角度の関係を、位置計測手段2によって計測された支持部の位置と前記先端部の位置とに基づいて算出する全角度算出機能1016を備えている。すなわち、図1に示す例では、指先を先端部として、2つの位置情報を使用して3つの関節の回転角度を算出する。

【0016】拘束条件記憶部1012は、次に、1つの先端部とリンクした複数の関節について特定の関節のみに自由度を与える他の関節については予め定められた角度で固定する第2の拘束条件を記憶する第2の拘束条件記憶領域を備えている。この第2の拘束条件は、先端部を支持する関節が複数存在する場合であっても、特定の関節のみに自由度を与え、他の関節については予め定められた角度で拘束するという条件である。

【0017】この第2の拘束条件に応じて、形状モデル生成部1013が、モデルを生成する先端部について第2の拘束条件が課されている場合には、位置計測手段2によって計測された支持部の位置と前記先端部の位置とに基づいて、当該支持部から先端部までに存在する各関節の内前記第2の拘束条件で特定される関節の角度を算出すると共に他の関節については予め定められた角度と判定する特定関節角度算出機能1017を備えている。特定関節の数は、計測点の数と関節の数及び自由度の数に応じて定まる。図1に示す例では、親指の形状モデルの生成にこの第2の拘束条件を使用すると良い。親指の指先と支持部の2点の位置情報を用いて3つの関節の回転角度を特定するため、ここでは、指先側2つの関節の回転角度を予め特定しておき、親指の付け根については自由度を1方向に限定した上で、計測した位置情報に基づいて回転角度を算出する。

【0018】また、拘束条件記憶部1012は、さらに、モデル対象物22の先端部の内前記位置計測手段2

によって位置が計測されない未計測先端部の位置及び当該未計測先端部にリンクされた各関節の角度について予め定義された基準となる先端部及び関節を第3の拘束条件として記憶する第3の拘束条件記憶領域1023を備える。これは、例えば、小指の先端については位置を計測せず、薬指のモデルの形状及び動作に小指モデルの形状及び動作を追従させるための拘束条件である。この第3の拘束条件は、具体的には、薬指先端の変位量に基づいて、小指先端の変位量を算出する位置の追従条件と、薬指の各関節の算出した回転角度を小指の各関節の回転角度とする角度の追従条件とを備える。

【0019】前記形状モデル生成部が、モデルを生成する未計測先端部に前記第3の拘束条件が課されている場合には当該未計測先端部の基準となる先端部の位置に追従する位置を当該未計測先端部の位置と判定すると共に当該未計測先端部とリンクした各関節の角度については前記基準となる先端部とリンクした各関節の角度に基づいて算出する未計測部分算出機能を備えたことを特徴とする請求項1、2又は3記載のモーリング装置。

【0020】図3は本実施形態のハードウエア資源の構成を示すブロック図である。図1に示すモデルデータ生成手段10115及びモデルデータ出力手段10111は、ワークステーション等のコンピュータ(演算処理装置)で実現することができる。演算処理装置10101は、位置計測手段の一部を成す撮像カメラ23によって撮像された画像データを受信する計測IF1031と、この画像データに基づいて各指の先端の座標値を算出すると共に当該座標値に基づいて各指の形状モデルを生成する処理を行うCPU1037と、このCPU1037の主記憶となるRAM1038と、演算処理装置10101の起動時の手順等を記憶したROM1039とを備えている。

【0021】演算処理装置10101はさらに、CPU1037による制御に従ってハードディスク1034やディスクドライブ1035等との入出力を管理する入出力IF1033と、モーリングデータ生成用プログラムが格納されたCD-R/ROM等の記憶媒体から当該プログラムデータを読み出すCD-R/ROMドライブ等のディスクドライブ1035と、このモーリングデータ生成用プログラムがインストールされた時にこのプログラムを構成するファイルを記憶するハードディスク(HD)1034とを備えている。CPU1037は、このモーリングデータ生成用プログラムを実行することで、図1に示したモデルデータ生成手段10115として機能する。また、ハードディスク1034には、図2に示したような拘束条件データが格納され、拘束条件記憶装置として機能する。

【0022】演算処理装置10101はまた、CPU1037によって生成された形状モデルデータをディスプレイへ表示するディスプレイとのインターフェースとなる表

示インタフェース1032を備えている。表示IF1032は、表示用のRAMを有し、ポリゴンの描画処理などをを行うことで、図1に示すモデルデータ出力手段10111として機能する。

【0023】記憶媒体に格納されたモーリングデータ生成用プログラムは、前記CPU1037を動作させるための指令として、ハードディスク1034に格納された拘束条件を前記先端部の種類毎に読み出させる拘束条件読出指令と、この拘束条件読出指令に応じて読み出された拘束条件と前記先端部の位置情報に基づいて各先端部毎に当該先端部の位置及び当該先端部にリンクした関節の角度を算出する形状モデル生成指令と、この形状モデル生成指令に応じて生成される各先端部毎の形状モデルを合成させる形状モデル合成指令とを備えている。

【0024】ここで「動作させる指令」というときにば、各指令のみで演算処理装置を動作させる指令と、演算装置に予め格納されているオペレーティングシステム等の他のプログラムに依存して当該コンピュータを動作させる指令とのいずれかまたは双方を含む。例えば、図3に示す例では、形状モデル生成指令は、オペレーティングシステムのファイル入出力機能に依存して、ハードディスクに格納された拘束条件データを読み出す。従つて、形状モデル生成指令は、例えば、オペレーティングシステムに読み出し対象のファイル名を引渡す指令である。このように、当該解析モデル生成用プログラムを記憶する記憶媒体であって、当該プログラムをユーザーへ搬送する用途の記憶媒体には、例えば「オペレーティングシステムに読み出し対象のファイル名を引渡す指令」のみが格納される場合がある。これは、動作させようとするコンピュータのオペレーティングシステム等との関係で定まる。

【0025】照明24は、モデル対象物である手22に計測光を照射する。撮像カメラ23は、この手22からの反射光を受光し、濃淡画像データを計測IF1031に入力する。CPU1037はまず、この濃淡画像データから指先21B乃至21Fの距離を算出する。例えば、照明24と撮像カメラ23との成す角に基づいて三角測量の原理により濃淡画像から距離画像を生成し、さらに、距離画像のうち指先の丸みに応じた部分を抽出することで、各指先の座標を算出するようにしてよい。各丸み部分がどの指に対応するかは、初期条件で各丸みがどの指であるかを考えておき、次回の計測以後は、前回の計測位置からの各丸み部分の変位量に応じてどの指の指先であるかを特定する。また、丸み部分の抽出ではなく、指先にそれぞれ個別のマークを付し、その画像認識により特定するようにしても良い。さらに、指先に反力を与えるには、後述する実施例での操作入力手段2Aを用いる。

【0026】各指先の座標が特定されると、CPU10

37は、各指に応じた拘束条件をハードディスク1031から読み出す。親指モデルの算出では、第2の拘束条件1022を読み出す。そして、親指の付け根の回転角度を算出する。人差し指から小指までについては、第1の拘束条件を読み出す。そして、1本の指の各関節の角度は等しいとする前提で、各指毎に関節角度を算出する。統いて、CPU1037は、各指の指先位置と、関節の角度から、手のモデルの骨格となるリンクを生成し、このリンクを中心軸とする円筒状を形成し、手の甲については予め定められた形状を指の方向に沿って形成する。これにより、手の形状モデルが形成される。この手の形状モデルは、表示1/F1032を介してディスプレイに表示される。この指先座標の計測と形状モデルの生成を所定のサンプリング周期で繰り返すことで、モデル対象物である手の動作をリアルタイムでモーリングすることができる。

## 【0027】

【実施例】次に、本実施例の実施例を図面を参照して説明する。本実施例では、親指、人差し指、及び中指の指先位置の3カ所の位置を計測することで、手の形状をモデルリングする。人差し指及び中指の形状モデルである人差し指モデル及び中指モデルでは、各関節角度が同一であるという第1の拘束条件を用いて形状データを生成する。親指については、親指の付け根の関節のみに自由度を与え、他の関節については予め定められた角度とする第2の拘束条件を用いる。薬指モデルと小指モデルについては、中指の形状データに追従させる第3の拘束条件を用いる。これにより、5つの先端部とそれぞれ3つの関節がある指を有する手の形状モデルデータを測定対象物であるオペレータの手の動きにリアルタイムに追従して生成し、ディスプレイ等の外部機器に表示することができる。

【0028】また、本実施例では、手の形状モデルを仮想空間内に配置してディスプレイに表示し、この手の形状モデルと仮想空間内の他のモデルとの干渉に応じて指先に反力を与える。このとき、グローブなどを使用すると、手の動きを大きく拘束してしまうため、本実施例では、指先と手の甲のみを拘束する操作入力手段(図6乃至図8参照)を使用する。

【0029】図4は、本実施例による形状モデル作成処理の概要を示すフローチャートである。本実施例では、まず、手の甲の位置・姿勢及び親指・人差し指・中指の指先の位置のセンシングを行う(ステップS1)。図5に示す手のリンク座標系では、先端部の白丸(Σ乃至Σ')の座標を計測し、一方、黒丸であるΣ及びΣ'については計測しない。そして、各関節の自由度に対してセンサデータのみでモーリングを行なうことができないため、次の拘束条件を加え得る(ステップS2)。拘束条件としては、まず、親指の2関節は固定し、付け根(Z軸付り)のみ回転する。次に、人差し指及び中指のそ

れぞれの3つの関節の回転角は等しい。そして、薬指及び小指は、中指の動作を追従する。

【0030】これらの拘束条件により、リンク座標系上の指先の軌跡が定まる。統いて、指先のセンサデータ(x, y, z)の1成分を用いて関節角を決定する(ステップS4、近似形状算出機能)。さらに、指先の異なる2成分は平行移動して補正する。各関節の位置も、指の付け根からの距離に比例させて平行移動する(ステップS5)。さらに、各リンクの回りに円筒状にボリゴンを張って表示する。

【0031】次に、操作入力手段2A及びこれを用いて指先に反力を与える構成を説明する。図6は、親指、人差し指、中指の指先を保持する操作グリップ21Aである。操作グリップ21Aは、指の先端部が挿入されるキャップ部材211と、いわゆるシンバル機構を形成する角度90度の円錐状に形成された2つのアーム部材212, 213とを備えている。そして、アーム部材212は、その一端部が垂直方向を軸としてキャップ部材211に回転自在に係合し、他端部が水平方向を軸としてアーム部材213の一端部と回転自在に係合している。また、アーム部材213は、アーム部材212との係合端部と対側の端部が、アーム部材212との回転軸に直交し且つ垂直な方向を軸として回転自在にリンク部材21Aの先端部に連結されている。

【0032】この構成を探ることにより、キャップ部材211は、リンク部材25Aに対していずれも直交する3方向を軸として回転自在となり、リンク部材25Aの傾斜角度にかかわらずオペレータの指先を任意の方向に向けた状態で保持することができる。また、キャップ部材211は、図6に示す構成のみならず、例えば指先を挿入するリング部材としてもよい。

【0033】図7は反力を指先に与える機能を有する本実施例によるモーリング装置の構成を示す斜視図である。本実施例では、3つの操作グリップをそれぞれ所定の自由度を与えて支持すると共に手の甲の位置及び姿勢を計測する操作入力手段と、この操作入力手段自体をオペレータの手の位置に応じて移動させることで操作入力手段の質量による慣性力を低減させる入力手段移動付勢機構4Bとを備えている。操作入力手段4Bと入力手段移動付勢機構4Bとは、反力を与え、また操作入力手段を移動させるための駆動モータ群と、リンクの回転角度等を計測するエンコーダ群等を備えている。また、入力手段移動付勢機構4Bは、操作入力手段を、回転運動のみならず、所定の半径内で移動させるために、直動型リンク部材44Bを備えている。この直動型リンク部材44の動作は、直動型ボンションメータによって検出される。

【0034】本実施例ではさらに、操作入力手段2A及び入力手段移動付勢機構の各エンコーダ等出力に基づいて指先の座標を算出すると共に手のモデルデータを生成

する演算処理装置1010と、この演算処理装置1010によって生成された手の形状モデルデータを他の仮想物体と共に表示するディスプレイ1001とを備えている。また、モーリング装置は、操作入力手段及び入力手段移動付勢機構4Bと、操作入力手段2Aと、入力手段移動付勢機構4Bと、制御手段3Bとにより、三次元マニピュレータ10Bが構成される。

【0035】図8は、図7に示す三次元マニピュレータ10Bの制御系の構成を示すブロック図である。制御手段3Bは、各エンコーダ等によって検出される検出角度信号やボテンショメータによって検出される直動変位信号に基づいて、各操作グリップ21A毎の入力位置座標を算出する入力座標算出部31と、この入力位置座標データに基づく動作指令信号を入力手段移動付勢機構4Bに出力する動作制御部32と、演算処理装置1010から出力される反力データに基づいて操作入力手段の駆動モータ群に駆動指令信号を入力する反力発生制御部33とを備えている。

【0036】入力操作手段2Aのそれぞれの回転関節2Aa、2Ab、2Acの回転角度が辨別すると、回転関節2Acを基準位置とする操作グリップの位置が求まる。この座標系をモデル対象物を中心とする座標系へ変換するために、同次変換行列を用いる。各入力操作手段2A毎の座標系での座標値を、モデル対象物での座標値に変換すると、形状モデルを生成するための先端部の座

標値となる。手の甲の位置及び基準座標での傾きについても、操作入力手段2Aの回転関節の回転角から算出する。

【0037】この座標値が得られると、演算処理手段1010が拘束条件を使用して指のモデルを生成する。図9は、本実施例により生成した形状モデルデータをディスプレイに表示した例を示す説明図である。指先及び手の甲の位置情報と所定の拘束条件を用いることで、図9に示すような自然な手の形状を生成することができる。

以下、図5に示した手のリンク座標系（ここでは、左手を示す）に基づいて、このモデルを生成した際の拘束条件と算出手法を説明する。

【0038】まず、手の甲の位置を原点として、手の甲の姿勢を求める。さらに、親指、人差し指、中指の先端部の座標値 $\Sigma_x$ 、 $\Sigma_y$ 、 $\Sigma_z$ を算出する。

【0039】親指のリンク座標系における同次変換行列を式（1）に示す。ここで、 $(O_{\alpha}, O_{\beta}, O_{\gamma})$ は、 $Z_{\alpha}$ 軸の原点のオフセット座標値、 $C_{\alpha}$ 、 $S_{\alpha}$ は $\cos\theta_{\alpha}$ 、 $\sin\theta_{\alpha}$ 、 $C_{\beta}$ 、 $S_{\beta}$ は $\cos(\theta_{\beta} + \theta_{\alpha})$ 、 $\sin(\theta_{\beta} + \theta_{\alpha})$ 、 $C_{\gamma}$ 、 $S_{\gamma}$ は $\cos(\theta_{\gamma} + \theta_{\beta} + \theta_{\alpha})$ 、 $\sin(\theta_{\gamma} + \theta_{\beta} + \theta_{\alpha})$ を表す。また、 $\theta$ は、 $Z_{\alpha}$ 軸周りのリンク $L_{\alpha}$ の回転角を表す。これにより、親指の指先の座標は次式（2）で示される。

【0040】

【数1】

$$\begin{aligned}
 {}^0T_1 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} -c_1 & s_1 & 0 & O_{11} \\ 0 & 0 & 1 & O_{12} \\ s_1 & -c_1 & 0 & O_{13} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \\
 {}^1T_2 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} \frac{1}{\sqrt{2}}c_2 + \frac{1}{2}s_2 & -\frac{1}{\sqrt{2}}s_2 + \frac{1}{2}c_2 & -\frac{1}{2} & L_{11} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}s_2 & \frac{1}{\sqrt{2}}c_2 & \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ \frac{1}{2}s_2 - \frac{1}{2}s_2 & -\frac{1}{2}s_2 - \frac{1}{2}c_2 & \frac{1}{2} & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \\
 {}^2T_3 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} c_3 & -s_3 & 0 & L_{12} \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

$${}^0T_3 = \left[ \begin{array}{ccc|c} -\frac{1}{\sqrt{2}}c_{123} - \frac{1}{2}c_1s_{23} & \frac{1}{\sqrt{2}}s_{123} - \frac{1}{2}c_1c_{23} & \frac{1}{\sqrt{2}}s_1 + \frac{1}{2}c_1 & -L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{12} + \frac{1}{2}c_1s_2) - L_{11}c_1 + O_{11} \\ \frac{1}{\sqrt{2}}c_{23} - \frac{1}{2}s_{23} & -\frac{1}{\sqrt{2}}s_{23} - \frac{1}{2}c_{23} & \frac{1}{2} & L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_2 - \frac{1}{2}s_2) + O_{12} \\ \frac{1}{2}s_{123} + \frac{1}{2}s_1s_{23} & -\frac{1}{2}c_{123} + \frac{1}{2}s_1c_{23} & \frac{1}{\sqrt{2}}c_1 - \frac{1}{2}s_1 & L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}s_{12} + \frac{1}{2}s_1s_2) + L_{11}s_1 + O_{13} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

-----式(1)

$${}^0T_3 = \left[ \begin{array}{c} L_{13} \\ 0 \\ 0 \\ \hline 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{c} -L_{13}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{123} + \frac{1}{2}c_1s_{23}) - L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{12} - \frac{1}{2}c_1s_2) - L_{11}c_1 + O_{11} \\ L_{13}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{23} - \frac{1}{2}s_{23}) + L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}c_2 - \frac{1}{2}s_2) + O_{12} \\ L_{13}(\frac{1}{\sqrt{2}}s_{123} + \frac{1}{2}s_1s_{23}) + L_{12}(\frac{1}{\sqrt{2}}s_{12} + \frac{1}{2}s_1s_2) + L_{11}s_1 + O_{13} \\ \hline 1 \end{array} \right]$$

-----式(2)

【0 0 4 1】人差し指、中指、薬指、小指の各リンク座標系における同次変換行列を、次式(3)で示す。ここで、yは指を表す添え字で、人差し指が2、中指が3、薬指が4、小指が5である。また、 $(O_{\alpha}, O_{\alpha \perp})$ は $Z_{\alpha}$ 軸の原点のオフセット座標値、 $C_{\alpha}, S_{\alpha}$ は

$\cos \theta_{\alpha}, \sin \theta_{\alpha}$ 、 $C_{\alpha \perp}, S_{\alpha \perp}$ は $\cos(\theta_{\alpha} + \theta_{\alpha \perp})$ 、 $\sin(\theta_{\alpha} + \theta_{\alpha \perp})$ 、 $C_{\alpha \perp \perp}, S_{\alpha \perp \perp}$ は $\cos(\theta_{\alpha} + \theta_{\alpha \perp} - \theta_{\alpha \perp})$ 、 $\sin$

$(\theta_{\alpha} + \theta_{\alpha \perp} + \theta_{\alpha \perp \perp})$ 、 $C_{\alpha \perp \perp}, S_{\alpha \perp \perp}$ は $\cos(\alpha_{\alpha \perp \perp})$ 、 $\sin(\alpha_{\alpha \perp \perp})$ を表す。また、 $\theta_{\alpha}$ は、 $Z_{\alpha}$ 軸回りのリンク $L_{\alpha}$ の回転角を表す。これにより、人差し指、中指、薬指、小指の指の座標は次式(4)で示される。

【0 0 4 2】

【数2】

(9)

$$\begin{aligned}
 {}^0T_1 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} 15 & -S_y c_1 & S_y s_1 & C_y & O_{y1} \\ & C_y c_1 & -C_y s_1 & S_y & O_{y2} \\ & s_1 & c_1 & 0 & O_{y3} \\ \hline & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \\
 {}^1T_2 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} c_2 & -s_2 & 0 & L_{y1} \\ s_2 & c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \\
 {}^1T_2 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} c_3 & -s_3 & 0 & L_{y2} \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \\
 {}^0T_3 &= \left[ \begin{array}{ccc|c} -S_y c_{123} & S_y s_{123} & C_y & -S_y(L_{y2}c_{12} + L_{y1}c_1) + O_{y1} \\ C_y c_{123} & -C_y s_{123} & S_y & C_y(L_{y2}c_{12} + L_{y1}c_1) + O_{y2} \\ s_{123} & c_{123} & 0 & L_{y2}s_{12} + L_{y1}s_1 + O_{y3} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

-----式(3)

$${}^0T_3 \begin{bmatrix} L_{y3} \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S_y(L_{y3}c_{123} + L_{y2}c_{12} + L_{y1}c_1) + O_{y1} \\ C_y(L_{y3}c_{123} + L_{y2}c_{12} + L_{y1}c_1) + O_{y2} \\ L_{y3}s_{123} + L_{y2}s_{12} + L_{y1}s_1 + O_{y3} \\ 1 \end{bmatrix}$$

-----式(4)

【0043】次に、親指の関節角度を求める方程式を説明する。センサによって得られる親指の指先の座標を $(P_x, P_y, P_z)$ とすると、式(2)より、次式(5)の関係が得られる。ここで、左辺の座標は適当に仮定したリンク座標系上の点を表すものであり、左辺の3式を全て満たす解は存在しない。確実に解が存在するのはセンサによって得られた座標のうちの1つだけを用いて指の状態を求める場合である。このために、状態変数を1つにする必要がある。そこで、親指の関節角を求めるために、以下のような拘束条件を加える。

【0044】第2の拘束条件

40  $Z_x, Z_y$  軸回りの関節角は固定し、 $Z_z$  軸回りにのみ自由度を持たせる。この第2の拘束条件と、式(5)の第1式から、式(6)の方程式を得る。ここで、 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$  は式(7)に示す定数である。式(6)を $a_{11}c_1 + a_{12}s_1 = -a_{21}s_1$  として両辺を二乗し $c_1$ について整理すると、式(8)を得る。さらに、式(8)から $c_1$ を求める式(9)を得る。親指の可動範囲を考えると、式(9)より、仮定したリンク座標系での親指の状態が一意に定まる。

【0045】

【数3】

$$\begin{bmatrix} 17 \\ -L_{13}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{123} + \frac{1}{2}c_1s_{23}\right) - L_{12}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{12} - \frac{1}{2}c_1s_2\right) - L_{11}c_1 + O_{11} \\ L_{13}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{23} - \frac{1}{2}s_{23}\right) + L_{12}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_2 - \frac{1}{2}s_2\right) + O_{12} \\ L_{13}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}s_{123} + \frac{1}{2}s_1s_{23}\right) + L_{12}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}s_{12} + \frac{1}{2}s_1s_2\right) + L_{11}s_1 + O_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18 \\ P_{1X} \\ P_{1Y} \\ P_{1Z} \end{bmatrix}$$

-----式(5)

$$a_1c_1 + a_2s_1 + a_3 = 0$$

-----式(6)

$$a_1 = L_{13}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_{23} + \frac{1}{2}s_{23}\right) + L_{12}\left(\frac{1}{\sqrt{2}}c_2 + \frac{1}{2}s_2\right) + L_{11}$$

$$a_2 = -\frac{1}{\sqrt{2}}(L_{13}s_{23} + L_{12}s_2)$$

$$a_3 = P_{1X} - O_{11}$$

-----式(7)

$$(a_1^2 + a_2^2)c_1^2 + 2a_1a_3c_1 + (a_3^2 - a_2^2) = 0$$

-----式(8)

$$c_1 = \frac{-a_1a_3 \pm \sqrt{a_2^2(a_1^2 + a_2^2 - a_3^2)}}{a_1^2 + a_2^2}$$

-----式(9)

【0046】さらに、人差し指の関節角度を求める方程式を証明する。センサによって得られる人差し指の指先座標を( $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ )とすると、式(4)より、式(10)に示す関係が得られる。親指の場合と同様に、確実に解が存在する方程式を導くために、以下のようないくつかの拘束条件を加えることとした。

【0047】第1の拘束条件  
 $Z_x, Z_y, Z_z$  軸回りの関節角度は等しい。この第1の拘束条件から、 $\cos\theta_x = \cos\theta_y = \cos\theta_z = c$  とす

ると、式(10)の第2式より式(11)の方程式を得る。ここで、 $a_1, a_2, a_3$ は、式(12)に示す定数である。人差し指の可動範囲を考えてこの3次方程式を解くと解は式(13)となり一意に与えられる。ここで、 $A_x, A_y, A_z$ は式(14)で示す定数である。この関係は、中指についても同様である。

【0048】

【数4】

$$\begin{bmatrix}
 19 \\
 -S_2(L_{23}c_{123} + L_{22}c_{12} + L_{21}c_1) + O_{21} \\
 C_2(L_{23}c_{123} + L_{22}c_{12} + L_{21}c_1) + O_{22} \\
 L_{23}s_{123} + L_{22}s_{12} + L_{21}s_1 + O_{23}
 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
 P_{2X} \\
 P_{2Y} \\
 P_{2Z}
 \end{bmatrix}$$

-----式(10)

$$c^3 + a_1c^2 + a_2c + a_3 = 0$$

-----式(11)

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \frac{L_{22}}{2L_{23}} \\
 a_2 &= \frac{L_{21}}{4L_{23}} - \frac{3}{4} \\
 a_3 &= -\frac{1}{4L_{23}}(L_{22} + \frac{P_{2Y} - O_{23}}{C_2})
 \end{aligned}$$

-----式(12)

$$c = \sqrt[3]{\sqrt{\frac{A_1^2}{27} + \frac{A_2^2}{4} - \frac{A_2}{2}}} - \sqrt[3]{\sqrt{\frac{A_1^2}{27} + \frac{A_2^2}{4}} + \frac{A_2}{2} - \frac{a_1}{3}}$$

-----式(13)

$$\begin{aligned}
 A_1 &= -\frac{a_1^2}{3} + a_2 \\
 A_2 &= -\frac{2a_1^3}{27} - \frac{a_1a_2}{3} + a_3
 \end{aligned}$$

-----式(14)

【0049】この式(8)及び(13)を用いて指先の位置座標から関節角度を求めて、比較的少ない計測点で手の形状モデルを作成することができる。すなわち、手の動作を拘束せず、または、位置の検出のために、指先の先端部と甲の位置及び姿勢のみの検出で、図9に示すような自然な手の形状のモーデリングデータを作成することができる。

【0050】また、本実施例では、図7に示すように3点の指先位置のみを検出するため、薬指モデルと小指モデルの位置及び形状については、第3の拘束条件を使用して中指に追従させる。すなわち、小指の関節と薬指の関節の関節角度は全て中指の関節角度と同一と算出する。

【0051】上述した手法により各指毎のリンク座標が定まる。図5に示すリンクを中心軸とする円筒面を形成し、指先については半球を与えることで、指モデルデータを生成する。さらに、手の甲の部分については予め定められた形状を計測した姿勢へ回転させる。この各指モデルと手の甲の部分のモデルとの和を算出することで、手の形状モデルデータを生成する。

## 【0052】

【発明の効果】本発明は以上のように構成され機能するので、これによると、形状モデル生成部が、この拘束条件記憶部に格納された拘束条件を用いることで、少ない位置情報で関節を有する複雑なモデル対象物の形状モデルデータを生成するため、モデル対象物の動作を制御しない先端部のみの位置情報を基づいて関節を有する複雑な形状の形状モデルデータを生成することができ、そして、モデル対象物の各関節にはなんら負荷が与えられないため、自然な動作を継続させることができ、所定のサンプリング周期で位置情報を計測し、形状モデルデータを生成することで、モデル対象物の動作に応じた形状モデルを生成し、例えばディスプレイ等に入力することができる、という従来にない優れたモーデリング装置を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】図1に示した拘束条件記憶部と形状モデル生成部との詳細構成を示すブロック図である。

【図3】図1に示したモデリング装置のハードウェア構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の一実施例により手のモデルデータを生成する概要を示すフローチャートである。

【図5】本実施例で使用する手のリンク座標系を示す説明図である。

【図6】本実施例で使用する操作グリップの構成を示す斜視図である。

【図7】本実施例で使用する入力操作手段の構成を示す斜視図である。

【図8】図7に示す三次元マニピュレータの制御系の構成を示すブロック図である。

\* 【図9】本実施例により生成した手の形状モデルデータの表示例を示す説明図である。

【符号の説明】

2 A 位置計測手段（操作入力手段）

2 3 撮像カメラ

2 4 照明

1 0 0 1 ディスプレイ

1 0 1 1 モデルデータ出力手段（表示1/F）

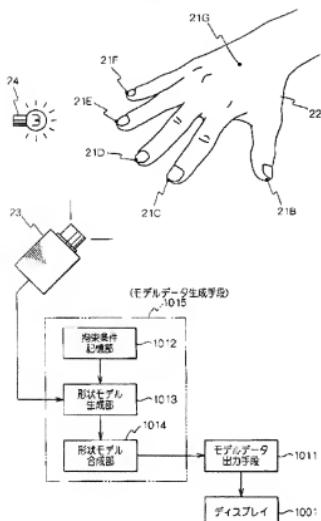
1 0 1 2 拘束条件記憶部（例えば、ハードディスク）

1 0 1 3 形状モデル生成部（例えば、CPU）

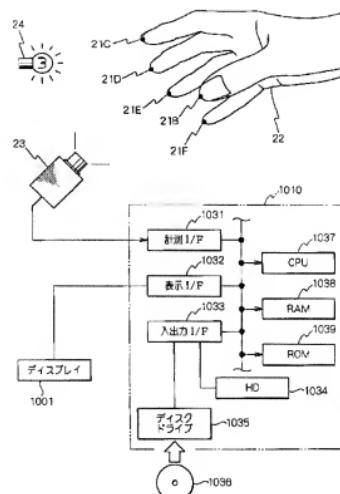
1 0 1 4 形状モデル合成功部（例えば、CPU）

1 0 1 5 モデルデータ生成手段

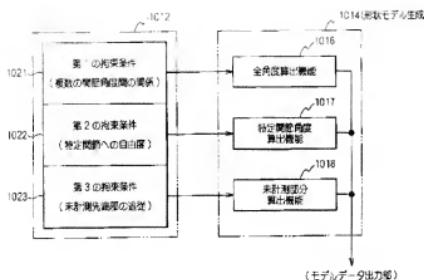
【図1】



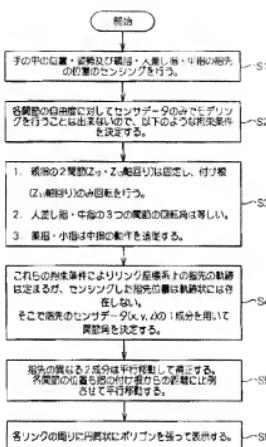
【図3】



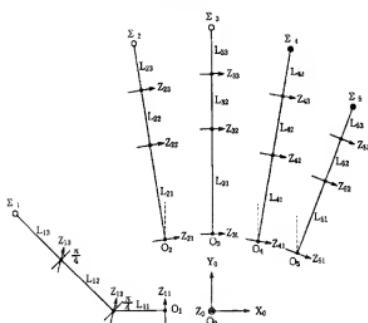
【図2】



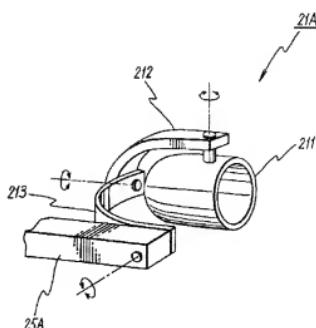
【図4】



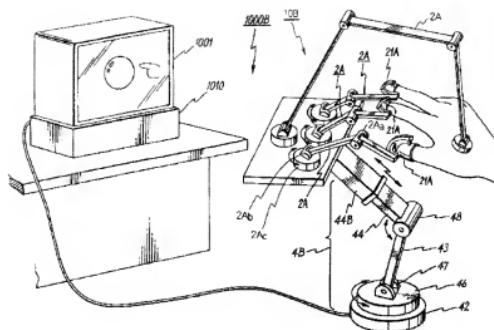
【図5】



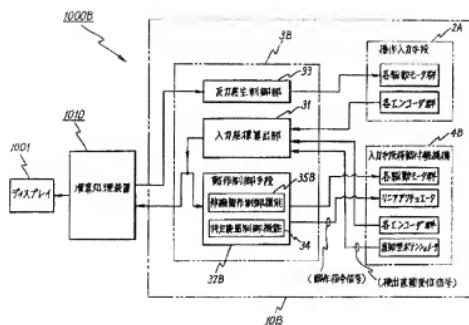
【図6】



【图7】



【图8】



【図9】



---

フロントページの続き

(72)発明者 足立 ▲吉▼隆  
神奈川県横浜市都筑区桜並木2番1号 ス  
ズキ株式会社技術研究所内

Fターミ(参考) 5B087 AA09 BC06 BC10 BC12 BC13  
BC26 DJ01 DJ03